

**Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet strojarstva i brodogradnje**

# **DIPLOMSKI RAD**

Branimir Požgaj

Zagreb, listopad 2009.

**Sveučilište u Zagrebu**  
**Fakultet strojarstva i brodogradnje**

# **DIPLOMSKI RAD**

Voditelj rada:  
Prof. dr. sc. Zdravko Schauperl

Branimir Požgaj

Zagreb, listopad 2009.

## SAŽETAK

Prvi, teorijski dio rada zasniva se na detaljnom opisu ukapljenog naftnog plina kao alternativnog goriva. Navedena su područja primjene ukapljenog naftnog plina, načini transporta i skladištenja, sustav ukapljenog naftnog plina u automobilu, cijena ukapljenog naftnog plina te sigurnost i ekološki aspekti prilikom korištenja istog. Također je prikazana kontrola ispušnih plinova (EKO test) i praćenje stanja motora ferografskom analizom na kojoj se temelji ovaj završni rad.

Drugi, praktični dio daje uvid u provedeno ispitivanje uzoraka motornog ulja vozila pokretanog ukapljenim naftnim plinom bez aditiva i s dodanim aditivom nakon određenog broja prijeđenih kilometara.

Rezultati su prikazani tablično i u dijagramu.

## Izjava

Izjavljujem da sam diplomski rad izradio samostalno, znanjem stečenim na Fakultetu Strojarstva i brodogradnje uz pomoć navedene literature.

Zahvaljujem se mentoru Prof. dr. sc. Zdravku Schauperlu i stručnom suradniku dr. sc. Gojku Mariću na korisnim savjetima i strpljenju.

Posebno se zahvaljujem obitelji na pruženoj podršci za vrijeme studiranja.

Branimir Požgaj

# SADRŽAJ

1	UVOD.....	5
2	UKAPLJENI NAFTNI PLIN (UNP) KAO ALTERNATIVNO GORIVO .....	6
2.1	UKAPLJENI NAFTNI PLIN ( UNP ) .....	6
2.2	PRIMJENA .....	9
2.3	PROIZVODNJA, TRANSPORT I SKLADIŠTENJE UNP-a.....	12
2.4	SUSTAV UNP-a ZA POGON VOZILA.....	16
2.5	CIJENA UNP-a.....	20
2.6	EKOLOŠKI ASPEKTI PRIMJENE UNP-a.....	21
2.7	SIGURNOST PRILIKOM KORIŠTENJA UNP-a.....	23
2.8	OSNOVNE PREDNOSTI I NEDOSTACI KORIŠTENJA UNP-a .....	24
3	PRAĆENJE STANJA MOTORA I KVALITETE IZGARANJA .....	25
3.1	ANALIZA ISPUŠNIH PLINOVA VOZILA – EKO TEST .....	25
3.1.1	<i>Eko test benzinskih motora .....</i>	26
3.1.2	<i>Eko test dizel motora .....</i>	28
4	FEROGRAFIJA .....	29
4.1	INDEKS SADRŽAJA ČESTICA TROŠENJA ( WPC ) .....	30
4.2	ANALIZA FEROGRAMA.....	32
5	PRAKTIČNI DIO.....	34
5.1	UZIMANJE UZORAKA.....	36
5.2	POHRANA UZORAKA .....	37
5.3	OPREMA ZA ISPITIVANJE .....	38
5.4	PRIPREMA UREĐAJA I UZORAKA ZA ISPITIVANJE .....	39
5.4.1	<i>Priprema uređaja PMA 90 S i uzoraka za ispitivanje.....</i>	39
5.4.2	<i>Priprema uređaja TCM – U i uzoraka za ispitivanje.....</i>	40
5.5	POSTUPAK MJERENJA.....	41
5.5.1	<i>Postupak mjerenja uređajem PMA 90 S.....</i>	41
5.5.2	<i>Postupak mjerenja uređajem TCM – U.....</i>	43
6	REZULTATI ISPITIVANJA .....	44
6.1	REZULTATI ANALIZE ULJA ISPITIVANOG AUTOMOBILA.....	44
7	ANALIZA REZULTATA ISPITIVANJA.....	46
8	ZAKLJUČAK.....	47
9	LITERATURA.....	48

## POPIS SLIKA

Slika 2.1 - Struktura potrošnje UNP-a u svijetu 2006. godine [3].....	10
Slika 2.2 - Shema proizvodnje UNP-a pri preradi nafte [2].....	12
Slika 2.3 - a) Skladištenje UNP-a u cilindričnim spremnicima [5] .....	13
Slika 2.4 - Skladištenje UNP-a u bocama [6] .....	13
Slika 2.5 - Kamionska cisterna za transport UNP-a [7] .....	14
Slika 2.6 - Željeznička cisterna za transport UNP-a [8].....	14
Slika 2.7 - Tanker za transport UNP-a [9] .....	15
Slika 2.8 - Plinovod za transport UNP-a [1].....	15
Slika 2.9 - Instalacija UNP-a u automobilu [1]. .....	18
Slika 2.10 - Globalna struktura zagađivača okoliša.....	21
Slika 4.1 - Princip rada ferograma s direktnim očitanjem [13].....	30
Slika 4.2 - Promjena indeksa intenzivnosti trošenja [4].....	31
Slika 4.3 - Shema dobivanja ferograma [13].....	32
Slika 4.4 - Izgled ferograma [13] .....	33
Slika 5.1 - Vozilo marke Peugeot na kojem je provedeno ispitivanje .....	34
Slika 5.2 – Izgled cilindra motora testnog vozila.....	35
Slika 5.3 – Dijelovi motora testnog vozila.....	35
Slika 5.4 – Ventili motora testnog vozila.....	35
Slika 5.5 - Pohranjeni uzorci .....	37
Slika 5.6 - Ferrograf s direktnim očitanjem PMA 90 S.....	38
Slika 5.7 - Uređaj za mjerenje zagađenja ulja TCM – U .....	38
Slika 5.8 - Raspored tipki na ferrografu PMA 90 S [14] .....	41
Slika 5.9 - Prvi i drugi maksimum, minimum [14].....	42
Slika 6.1 - Vrijednost indeksa intenzivnosti trošenja (WPC) tijekom trajanja ispitivanja.....	45
Slika 7.1 - Promjena indeksa sadržaja čestica trošenja (WPC) u ovisnosti o prijeđenim kilometrima .....	46

## POPIS TABLICA

Tablica 2-1: Osnovna svojstva trgovačkog propana i butana [2] .....	8
Tablica 2-2: Statistički podaci o sektoru UNP u Europi krajem 2006. godine [3]. .....	11
Tablica 3-1: Zakonski zahtjevane vrijednosti eko testa za skupinu REG-KAT [11].....	26
Tablica 3-2: Zakonski zahtjevane vrijednosti eko testa za skupinu BEZ-KAT [11] .....	27
Tablica 3-3: Zakonski zahtjevane vrijednosti eko testa za skupinu DIZEL [11].....	28
Tablica 6-1: Rezultati analize ulja ispitivanog automobila .....	44

## POPIS OZNAKA

Oznaka	Značenje	Mjerna jedinica
$\lambda$	Faktor zraka	
n	Brzina vrtnje	min <sup>-1</sup>
k	Srednji koeficijent zacrnjenja	m <sup>-1</sup>
WPC	Sadržaj čestica trošenja	%
D <sub>L</sub>	Površina prekrivena većim česticama	%
D <sub>S</sub>	Površina prekrivena manjim česticama	%
TCM	Ukupni sadržaj zagađujućih tvari	%



# 1 UVOD

Smanjenje zaliha nafte, drastičan porast cijena naftnih energenata na tržištu koji uzrokuje cijelu lavinu poskupljenja dobara i međunarodne krize potiču sve veću primjenu alternativnih energenata. Pod pojmom alternativnih energenata podrazumjevaju se goriva dobivena od ugljena, obnovljiva goriva, alkoholi i plinska goriva.

Prema procjenama za potrebe prijevoza troši se oko 50 % naftnih derivata, nafte i benzina. Potreba za smanjenjem potrošnje konvencionalnih goriva, cijene tih goriva i modifikacije potrebne da bi se mogla koristiti alternativna goriva u svrhu prijevoza u prvi plan postavljaju ukapljeni naftni plin ( UNP ) kao alternativu.

U prilog korištenju UNP-a idu i cijena energenta, dostupnost energenta, rasprostranjenost stanica za opskrbu, utjecaj na okoliš te sigurnost pri upotrebi, dok je utjecaj na pogonski agregat u odnosu na konvencionalno gorivo tema ovog rada.

## **2 UKAPLJENI NAFTNI PLIN (UNP) KAO ALTERNATIVNO GORIVO**

### **2.1 UKAPLJENI NAFTNI PLIN ( UNP )**

Ukapljeni naftni plin je smjesa zasićenih ugljikovodika propana i butana, odnosno njegovih izomera (n-butana i izo-butana) te raznih primjesa, ponajviše propena, butena, etana i etena u različitim omjerima. Ukapljeni naftni plin, zapravo, nastaje miješanjem struja trgovačkog propana i butana u odgovarajućem omjeru, što ovisi o načinu proizvodnje i zahtjevima za kakvoćom. Trgovački propan sadržava najmanje 95% propana s manjim udjelom propena, dok ostatak čine etan, eten, butan i buten. Trgovački je pak butan sastavljen također od najmanje 95% butana i butena, odnosno njihovih izomera, a ostalih 5% čine propan, propen, pentan i penten, odnosno njihovi izomeri [1].

Kada se govori o UNP-u, valja razlikovati dva stanja: kapljevito i plinovito te tri faze: kapljevita, parovita i plinovita. Pojam stanja pri tome je vezan uz pojavnost, agregatno stanje tvari, a faze uz ponašanje plina u (zatvorenom) spremniku pri ravnotežnim uvjetima. Za prelazak iz jedne u drugu fazu, odnosno stanje, treba dovesti ili odvesti toplinu.

Pri normalnim je uvjetima UNP u plinovitom stanju, no ukapluje se pri razmjerno niskim tlakovima ( 1,7 – 7,5 bar ). Neotrovan je i nema boju ni miris pa mu se pri proizvodnji dodaje odorant kako bi se moglo otkriti propuštanje. Ima uske ali niske granice eksplozivnosti i teži je od zraka pa iz zatvorenih prostorija sporo otječe u slobodnu atmosferu.

Proizvodi se iz nafte i naftnih plinova rafinerijskom preradom ili pri obradi sirovog prirodnog plina. Vrlo je prikladan za prijevoz, skladištenje i uporabu jer se može skladištiti i prevoziti u kapljevitom, a koristiti u plinovitom stanju.

Osim ugljikovodika, UNP redovito sadržava neugljikovodične tvari kao što su voda, dušik, kisik, amonijak, sumpor i njegovi spojevi u zanemarivim udjelima. Pri tome se voda, amonijak i sumpor smatraju štetnim onečišćenjima:

- voda : uzrokuje stvaranje čvrstih hidrata s ugljikovodicima i smrzavanje dijelova instalacija zimi
- amonijak: korozivan, posebice za dijelove instalacija od bakra ili njegovih slitina
- sumpor: otrovan i uzrokuje onečišćenje okoliša sumpornim spojevima i stvaranje agresivnih spojeva u reakciji s vodom iz dimnih plinova pri izgaranju

Uz to, UNP-u se u pravilu dodaju razni aditivi – tvari za poboljšanje određenih fizikalnih i kemijskih svojstava, a najčešći su:

- metanol: sredstvo protiv smrzavanja zimi ( u količini 1-1,5 l/m<sup>3</sup>)
- odoranti: za brzo i jednostavno otkrivanje u slučaju nekontroliranog istjecanja ( etil-merkaptan u količini 12 g/ m<sup>3</sup> i tiofen, odnosno tetrahidrotiofen u količini 77g/ m<sup>3</sup> ) [2].

*Svojstva komercijalnog UNP-a su:*

- komercijalni proban butan plin je smjesa bez boje, okusa i mirisa
- dvostruko teži od zraka
- za uporabu je ODORIZIRAN najčešće etil merkaptanom, da bi se njegova prisutnost u zraku mogla osjetiti njuhom
- nije otrovan, ali kod prevelike koncentracije smanjuje količine kisika u prostoriji
- kod atmosferskog tlaka i sobne temperature propan-butan plin je u plinovitom stanju
- zbog lakšeg korištenja i transporta ukapljuje se pod povećanim tlakom u posebne posude (boce ili spremnici)

Osnovna fizikalna svojstva trgovačkog propan-butana prikazana su u tablici 2-1.

**Tablica 2-1: Osnovna svojstva trgovačkog propana i butana [2]**

svojstvo		trgovački propan	trgovački butan
gustoća u kapljevitom stanju pri 15 °C, kg/dm <sup>3</sup>		≥ 0,502	≥ 0,559
tlak zasićenja, bar	pri 15 °C	7,5	1,7
	pri 50 °C	11,5 - 19,3	6,9
donja ogrjevna vrijednost pri 15 °C	MJ/kg	46,0	45,6
	kW h/kg	12,79	12,66
	MJ/m <sup>3</sup>	85,3	109,6
	kW h/m <sup>3</sup>	23,7	30,45
volumni udio CO <sub>2</sub> u dimnim plinovima pri potpunom izgaranju, %		13,7	14
volumni udio dušika u dimnim plinovima pri potpunom izgaranju, %		86,3	86
najviša temperatura plamena na zraku, °C		1915	1920
maseni udio sumpora, %		≤ 0,005	≤ 0,005

## 2.2 PRIMJENA

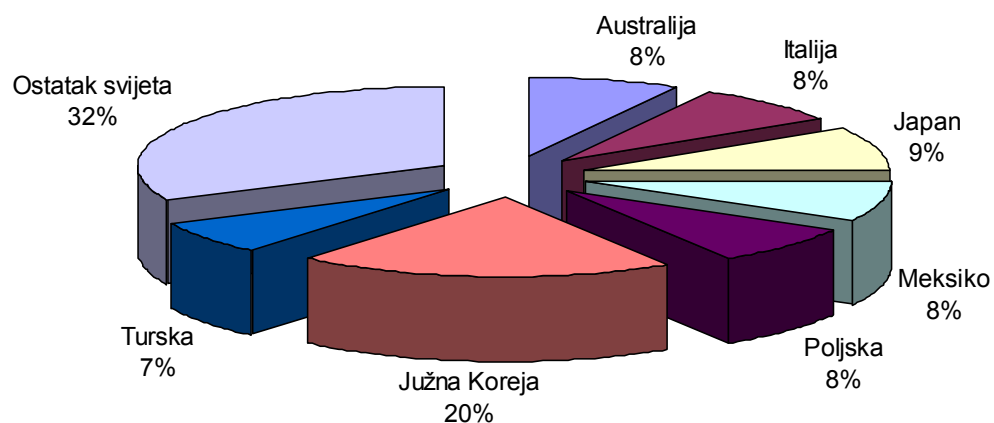
Područja primjene UNP-a mogu se podijeliti u pet skupina:

- **kućanstva, stambene i poslovne zgrade:** gorivo u sustavima grijanja i pripreme potrošnje tople vode, za pripremu hrane i sl.
- **ugostiteljstvo i turizam:** gorivo u sustavima grijanja i pripreme potrošnje tople vode, za pripremu hrane, za rasvjetu i grijanje otvorenih prostora i sl.
- **industrija i graditeljstvo:** gorivo u sustavima grijanja i pripreme potrošnje tople vode ili proizvodnje pare, raznim proizvodnim procesima, za rezanje i zavarivanje, za postavljanje izolacija i sl.
- **poljoprivreda:** gorivo u sustavima grijanja staklenika, za uništavanje korova i sl.
- **promet:** pogonsko gorivo u motorima s unutarnjim izgaranjem

Prema statističkim podacima svjetske i europske organizacije za UNP u svijetu je 2006. godine potrošeno oko 235 milijuna tona UNP-a. Najveći rast potrošnje UNP-a kao alternativnog goriva za pogon motornih vozila postignut je od 1999. do 2005. godine. Potrošnja UNP autoplina je povećana sa 11,5 na 18,2 milijuna tona, ili 55 %, s procjenama za 2010. godinu od 25,5 milijuna tona [3].

Sličan je trend i u povećanju broja vozila na pogon UNP-om, sa 6,4 milijuna krajem 1999. na 12 milijuna vozila krajem 2006. godine, što je praćeno prosječnim godišnjim rastom broja punionica oko 8 % (sa 25 800 punionica krajem 1999. na preko 40 000 krajem 2004. godine) [3].

Na slici 2.1 prikazana je struktura potrošnje UNP-a u svijetu 2006. godine



**Slika 2.1 - Struktura potrošnje UNP-a u svijetu 2006. godine [3].**

Procjenjuje se da je u Europi krajem 2006. godine bilo registrirano oko 6,5 milijuna vozila s pogonom na UNP, koja su se opskrbljivala autoplino na više od 23.000 punionica. Po broju vozila prva je bila Poljska sa preko dva milijuna, slijede je Turska i Italija. Mreža punionica UNP-om najrasprostranjenija je u Poljskoj sa skoro 6.000 punionica, zatim slijede Turska, Njemačka, Italija, Nizozemska i Velika Britanija.

U tablici 2-2 prikazani su statistički podaci o sektoru UNP-a u Europi krajem 2006. godine.

**Tablica 2-2: Statistički podaci o sektoru UNP u Europi krajem 2006. godine [3].**

<b>Država</b>	<b>Broj registriranih vozila na pogon UNP autoplino</b>	<b>Broj punionica UNP autoplino</b>
Austrija	15.200	25
Belgija	75.600	620
Češka <sup>(3)</sup>	182.300	480
Danska	11.400	12
Estonija	21.200	90
Francuska <sup>(3)</sup>	186.400	1.180
Hrvatska	46.000	180
Italija <sup>(2)</sup>	1.220.000	2.100
Litva	185.000	880
Mađarska	82.000	560
Nizozemska <sup>(3)</sup>	340.000	2.050
Njemačka	142.000	2.200
Poljska <sup>(3)</sup>	2.020.000	5.900
Portugal	36.000	240
Rumunjska <sup>(1)</sup>	26.600	120
Srbija <sup>(4)</sup>	24.000	290
Turska <sup>(2)</sup>	1.740.000	4.500
Velika Britanija	136.000	1.320
Ostale države <sup>(5)</sup>	108.300	400
<b>Ukupno</b>	<b>6.588.000</b>	<b>23.622</b>

*Napomena:*

*(1) Podaci za 2005. godinu*

*(2) Procjena GAIN-a (Grant Aided Heating Installers' Network)*

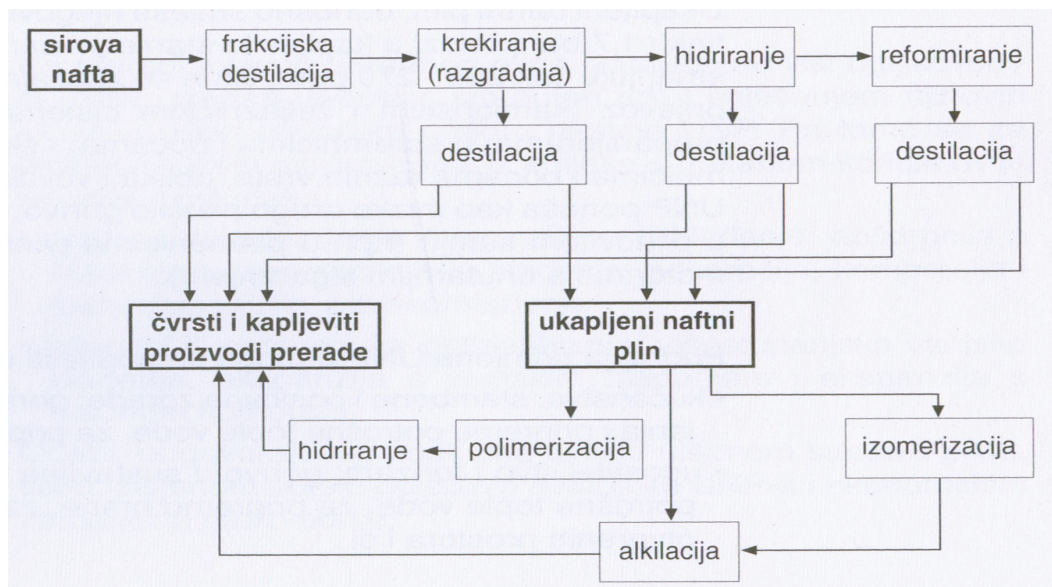
*(3) Procjena AEGPL-a (The European LPG Association)*

*(4) Broj neregistriranih vozila je nekoliko puta veći od navedenog broja*

*(5) Manje od 10.000 vozila*

## 2.3 PROIZVODNJA, TRANSPORT I SKLADIŠTENJE UNP-a

Osnovne sirovine za proizvodnju UNP-a su prirodni plin i sirova nafta . Pri tome oko 60 % otpada na proizvodnju u postrojenjima za preradu prirodnog plina, a ostatak na rafinerije nafte, prikazano slikom 2.2.



Slika 2.2 - Shema proizvodnje UNP-a pri preradi nafte [2].

U ukupnoj količini proizvoda koji se dobivaju u tim procesima , UNP čini 4 % volumnog udjela pri preradi prirodnog plina, odnosno 4,5 % masenog udjela pri rafinerijskoj preradi nafte.

Pri preradi sirovog prirodnog plina izdvajaju se viši ugljikovodici ( etan, propan, n-butan, izo-butan, itd. ) i miješanjem njihovih struja u odgovarajućem omjeru nastaje UNP. Pri tome se za izdvajanje viših ugljikovodika iz smjese s metanom koriste dvije skupine postupaka:

- postupci bez hlađenja ili uz umjereno hlađenje (apsorpcija s hlađenjem, apsorpcija bez hlađenja, adsorpcija, kompresija i jednostupanjsko vanjsko hlađenje)
- kriogeni ili postupci uz ohlađivanje (višestupanjsko vanjsko hlađenje, ekspanzija s vanjskim hlađenjem i ekspanzija s vanjskom komorom)



Odabir odgovarajućeg postupka ovisi o ulaznom sastavu plina, tlaku, željenom udjelu pojedinih sastojaka UNP-a i ekonomskim zahtjevima proizvodnje. Pri rafinerijskoj preradi nafte jedan se dio sastojaka UNP-a izdvaja već u kolonama za frakcijsku destilaciju i destilaciju u kojima se proizvode laki benzin, petrolej, loživo i plinsko ulje te teški ostaci. Zbog velikog udjela sumpora u tako dobivenom UNP-u u pravilu je potrebna daljnja prerada ili se on koristi kao gorivo u samom procesu proizvodnje. Ipak, najveći se dio sastojaka UNP-a izdvaja pri daljnjim postupcima rafinerijske prerade nafte kao što su kreiranje, hidriranje i reformiranje.

Ukapljeni naftni plin, odnosno smjesa njegovih sastojaka već pri tlaku 1,7 bar prelazi u kapljevito stanje pri čemu mu se volumen smanjuje čak 260 – 270 puta, čime se značajno olakšava njegov prijevoz kamionskim i željezničkim cisternama, brodovima, u spremnicima i bocama, slike 2.3 do 2.8



a)



b)

**Slika 2.3 - a) Skladištenje UNP-a u cilindričnim spremnicima [5]**

**b) Skladištenje UNP-a u okruglim spremnicima [5]**



**Slika 2.4 - Skladištenje UNP-a u bocama [6]**



Slika 2.5 - Kamionska cisterna za transport UNP-a [7]



Slika 2.6 - Željeznička cisterna za transport UNP-a [8]



**Slika 2.7 - Tanker za transport UNP-a [9]**



**Slika 2.8 - Plinovod za transport UNP-a [1]**

## 2.4 SUSTAV UNP-a ZA POGON VOZILA

Ukapljeni naftni, a u posljednje vrijeme i prirodni plin, kao pogonska goriva u motornim vozilima imaju brojne ekološke, ali i ekonomske prednosti nad uobičajenim benzinskim i dizelskim gorivima: mogućnost nastajanja prizemnog ozona smanjena je za više od 50%, emisija dušičnih oksida i ugljičnog monoksida smanjena je za 80%, dok su emisije sumpornih spojeva, benzola, aldehida i čvrstih čestica (čadži) gotovo zanemarive .

Zbog toga ne čudi da se upravo prirodni i ukapljeni naftni plin, u usporedbi s ostalim 'alternativnim' rješenjima za pogon vozila: alkoholom, gorivim ćelijama, vodikom i električnom strujom, smatraju jedinom dostojnom zamjenom postojećih skupih i za okoliš prilično štetnih goriva. Dodatna je pogodnost da se postojeći benzinski motori mogu prilagoditi plinskom pogonu bez mnogo preinaka, a najčešće su tzv. bivalentne izvedbe, to jest mogućnost trenutnog prebacivanja pogonskog goriva (UNP-beznin) tijekom vožnje.

Prema UN / ECE Pravilniku serije 67-01, minimalni skup opreme za ugradnju u motorno vozilo s alternativnim pogonom na UNP autoplin čini [3] :

- spremnik plina
- armatura priključena na spremnik
- isparivač / regulator tlaka plina
- ventil za prekid toka UNP autoplina
- uređaj za ubrizgavanje plina ili ubrizgavač ili mješač plina i zraka
- uređaj za doziranje plina odvojen ili kombiniran s uređajem za ubrizgavanje plina
- fleksibilne cijevi
- uređaj za punjenje
- protupovratni ventil
- ventil za rasterećenje od visokog tlaka u cijevima
- filter
- senzor tlaka ili temperature
- pumpa za t.f. UNP autoplina
- servisna spojnica
- elektronska upravljačka jedinica
- rampa za ubrizgavanje plina
- uređaji za rasterećenje od visokog tlaka

Dijelovi i oprema koji čine armaturu priključenu na spremnik su [3] :

- uređaj za ograničenje punjenja na 80% zapremine spremnika
- indikator nivoa
- sigurnosni ventil za rasterećenje od visokog tlaka
- daljinski upravljani servisni ventil s ventilom protiv ekstra visokog protoka
- pumpa za UNP autoplin
- multifunkcionalni ventil (multiventil)
- plinsko nepropusno kućište za armaturu priključenu na spremnik, sa ventiliranjem nekontroliranog istjecanja plina
- električni priključak za rad pumpe, aktuator i senzor nivoa
- protupovratni ventil
- sigurnosni uređaj za sprječavanje eksplozije spremnika uzrokovane požarom, koji omogućuje rasterećenje spremnika od visokog tlaka

U Europi postoji veliki broj proizvođača opreme za autoplin, a najviše su zastupljeni u Italiji, Nizozemskoj, Njemačkoj i Francuskoj s licencom proizvodnje u Poljskoj, Turskoj i Češkoj, kao i proizvodnjom spremnika prema vlastitim tehnološkim rješenjima u drugim europskim državama.

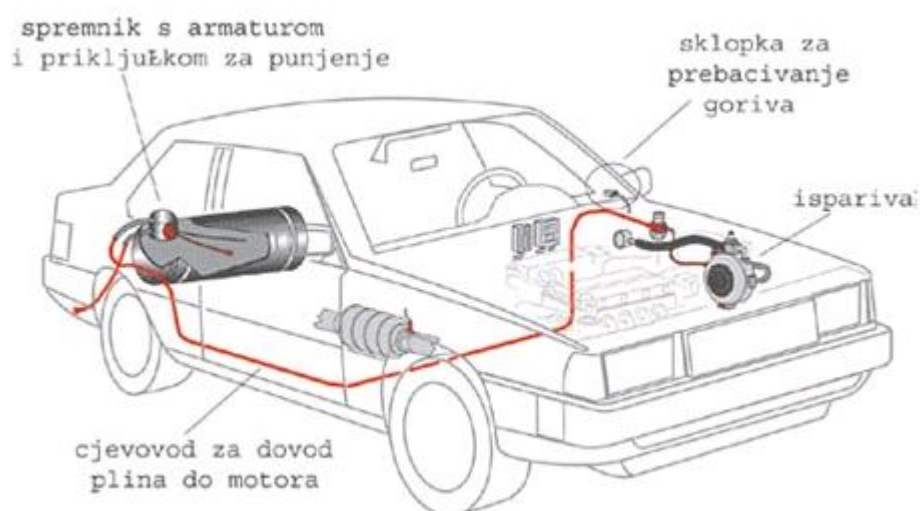
Na prostorima država jugoistočne Europe najčešće su prisutni europski proizvođači autoplin opreme, kao što su Autronic, BRC, Emer, Landi Renzo, Lovato, Stargas, Tartarini i Tomasetto, koji isporučuju poremu u specijalnim kompletima namjenjenim određenim markama i tipovima motornih vozila.

Svi se dijelovi instalacije izrađuju od materijala koji je otporan na djelovanje ukapljenog naftnog plina i ne mijenja njegova svojstva, te u dodiru s njim nije zapaljiv. Osnova sustava UNP-a u vozilu jest spremnik, koji kao i svaka druga posuda pod tlakom mora imati dopuštenje Državnog inspektorata - Inspekcije posuda pod tlakom (prema članku 287. Zakona o sigurnosti prometa na cestama, pročišćeni tekst, NN 59/96), a na njemu se nalazi oznaka na kojoj stoji [1]. :

- naziv proizvođača, tvornički broj i godina proizvodnje
- naziv plina kojim se puni (smjesa propan-butan)
- volumen spremnika u litrama
- datum posljednjeg pregleda i ispitivanja, te pečat ustanove koja je to provela (DI-IPT)
- najveća dopuštena masa plina pri punjenju u kg.



Na slici 2.9 prikazana je instalacija UNP-a u automobilu.



**Slika 2.9 - Instalacija UNP-a u automobilu [1].**

Na spremniku se nalazi oprema koja, kao i kod običnih spremnika, jamči njegovu sigurnu uporabu. Ona uključuje glavni ventil spremnika, ventil za sprječavanje protoka, uređaj za osiguranje od previsokog tlaka, pokazivač razine, zaštitno kućište, priključak za punjenje s protupovratnim ventilom i zaporne ventile.

Osim spremnika i ostali dijelovi moraju zadovoljiti temeljne zahtjeve. Ugradnja spremnika, uređaja i opreme za pogon motornih vozila UNP-om smatra se preinakom vozila koje smiju izvoditi samo ovlaštene servisne radionice koje o izvedenim radovima izdaju odgovarajuću izjavu čiji sadržaj utvrđuje ovlaštena organizacija. Uređaji i oprema moraju biti ugrađeni u granicama dimenzija vozila u koje su ugrađeni. Nakon ugradnje ispituju se nepropusnost i osovinsko opterećenje. Prilikom ugradnje spremnika u vozila treba voditi računa o osnovnim mjerama sigurnosti [4] :

- ispušni plinovi motora ne smiju se usmjeriti prema spremniku
- plin koji bi mogao istjecati iz spremnika, opreme ili spojeva ne smije biti usmjeren prema ispušnom sustavu, motoru, putničkom ili prtljažnom prostoru
- spremnik se mora zaštititi od djelovanja sunčevih zraka
- spremnik se mora mehanički zaštititi od vanjskih utjecaja (npr. udaraca) ako se ugrađuje u pod vozila
- spremnik se ne smije ugrađivati u predjelu motora ni ispred prednje osovine vozila

- prilikom ugradnje u stražnjem dijelu najmanja udaljenost od stražnjeg branika iznosi 200 mm, a za pričvršćenje služe najmanje dva držača
- progibi, uvijanja i vibracije vozila ne smiju imati nikakav nepovoljan utjecaj na dijelove uređaja i opreme za pogon vozila kao i dijelove njihova pričvršćenja
- pričvršćenja ne smiju biti izvedena s oštrim bridovima i ne smiju biti takva da mogu oštetiti dijelove uređaja i opreme

Uz uobičajene isprave vozila potrebno je imati i tehničku uputu u kojoj slijedi:

- punjenje spremnika dopušteno je samo ukapljenim naftnim plinom na za to predviđenim mjestima (punionicama), kad je motor isključen i kad u vozilu nema osoba i ako nije prekoračena valjanost redovnog tehničkog pregleda vozila i spremnika
- spremnik se ne smije puniti više od 80% volumena
- nakon punjenja priključak za punjenje mora se nepropusno zatvoriti i zaštititi poklopcem
- ispravnost sigurnosnog ventila može obavljati samo ovlaštena osoba
- vozilo se ne smije ostavljati u prostoriji bez prozračivanja, kao što je posve zatvorena podzemna, podrumaska garaža, a u njegovoj blizini ne smije biti otvorenog plamena ili izvora iskrenja

Svako vozilo s pogonom na UNP mora se označiti naljepnicom koja se postavlja na vjetrobransko ili stražnje staklo vozila.

## 2.5 CIJENA UNP-a

Trenutna cijena ovog energenta iznosi 4,16 kn / l. Do rujna 2009. godine cijena je iznosila s 3,35 kn / l. Cijena od 3,35 kn / l uspostavljena je u veljači 2007. godine kada je prvi put korigirana nakon 2002. godine s cijene od 3,05 kn / l. Ako uzmemo u obzir trenutnu cijenu benzinskih i diesel goriva ( Super plus 98 stoji 7,47 kn / l, EuroDiesel stoji 6,85 kn / l ) možemo uočiti razliku u cijeni energenta. Gledano unazad, do prethodnog poskupljenja cijena UNP-a nije nikada premašila 50 % vrijednosti cijene najskupljeg goriva.

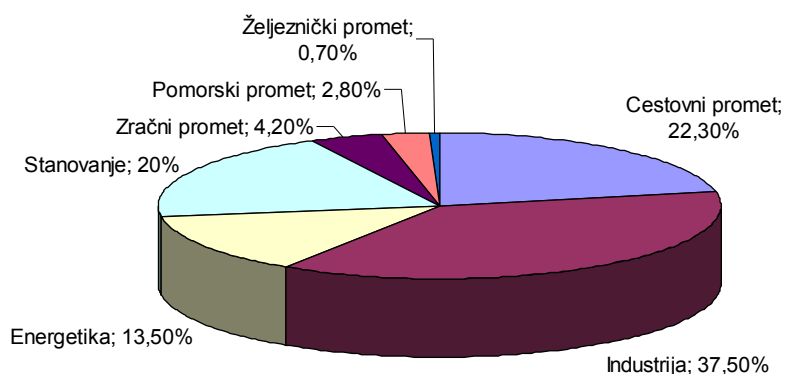
Za jednak broj prijeđenih kilometara potrebna je veća količina UNP-a od potrebne količine benzina. Treba uračunati i troškove servisiranja sustava UNP-a u vozilu. Uzimajući sve to u obzir još uvijek se ostvaruje značajna ušteda po prijeđenom kilometru i time je omogućena otplata početne investicije ugradnje autoplina nakon određenog broja prijeđenih kilometara. Nakon toga ostvaruje se konkretna ušteda. Valja napomenuti i blagotvorno djelovanje UNP-a na okoliš, značajnim smanjenjem emisija štetnih tvari u usporedbi s konvencionalnim gorivima.



## 2.6 EKOLOŠKI ASPEKTI PRIMJENE UNP-a

Prema istraživanjima vodećih svjetskih institucija provedenih tokom posljednjih dvadesetak godina utvrđeno je da na ukupno zagađenje okoliša najviše utječu industrija i energetika sa 50 %, prijevoz 30 %, te stanovanje 20 %. [3].

Na slici 2.10 prikazana je globalna struktura zagađivača okoliša



**Slika 2.10 - Globalna struktura zagađivača okoliša**

UNP kao energent je vrlo dobar s ekološkog stajališta i ima sve veću učinkovitost u očuvanju ozonskog omotača. Direktnim izgaranjem bez dima, pepela, čađe i neugodna mirisa, te odsutnosti sumpornih spojeva, u odnosu na ostala fosilna goriva (osim prirodnog plina), UNP doprinosi u smanjenje pojava kiselih kiša i ostalih produkata emisije štetnih plinova, kako na području energetskega rješavanja objekata tako i prometa.

Informativna usporedba emisije ispušnih plinova tijekom vožnje UNP vozila u odnosu na benzin i dizel prikazana je u tablici 2-3

**Tablica 2-3: Usporedba emisije ispušnih plinova UNP vozila u odnosu na benzin i dizel [10]**

<b>Usporedba prema benzinu</b>	<b>Usporedba prema dieselu</b>
75% manje CO (ugljičnog monoksida)	90% manje krutih čestica
85% manje ugljikovodika	90% manje NO (dušičnog oksida)
40% manje NO (dušičnog oksida)	70% manje utjecaja na oblikovanje ozona
87% manje utjecaja na oblikovanje ozona	60% manje CO (ugljičnog monoksida)
10% manje CO <sub>2</sub> (ugljičnog dioksida)	

## 2.7 SIGURNOST PRILIKOM KORIŠTENJA UNP-a

UNP ima najniže granice zapaljivosti od svih alternativnih goriva. Ako slučajno dođe do nekontroliranog istjecanja, tekući UNP brzo ispari. UNP se neće zapaliti dok izvor paljenja ne postigne temperaturu od najmanje 500 °C, što je povoljnije od benzina kod kojeg dolazi do zapaljenja pri dvostruko nižim temperaturama ( 220 - 260°C ).

Spremnici autoplina koji se ugrađuju u vozila napravljeni su od čelika ili kompozitnih materijala i ispitani prema najstrožim standardima, radi osiguranja prilikom udara, eksplozije i požara.

Suvremene instalacije ugrađene u vozila za pogon UNP-om opremljene su uređajima za osiguranje od visokih tlakova, pucanja cijevnih vodova, havarije vozila ili požara.

Opskrba vozila UNP-om odvija se na sličan način kao i kod vozila pogonjenih benzinom ili dieselom. Poput benzina i diesela, UNP je u tekućem stanju i spremnik vozila se puni preko pumpnog automata i pištolja za punjenje kroz savitljivo crijevo. Pumpa se automatski zaustavlja kada je spremnik napunjen na 80 % volumena, tako da nema opasnosti od prepunjivanja spremnika. Ne može se desiti da se u spremnik autoplina puni drugo gorivo zbog različitih priključnih otvora za punjenje

Kao za benzin i diesel, na armaturnoj ploči je montiran indikator količine autoplina u spremniku. Vozila na UNP koriste benzin i UNP iz odvojenih spremnika, tako da se automatski prelazi na drugo gorivo prilikom nestanka trenutno korištenog goriva, čime je vozilu osigurana duplo veće autonomija vožnje.

Sigurnost opskrbe UNP-om svakodnevno se povećava izgradnjom novih punionica, bilo uz postojeće benzinske postaje ili kao zasebne punionice smještene na prikladnim mjestima za distribuciju UNP-a. Prema podacima Svjetskog udruženja za UNP u svijetu je instalirano oko 40.000 punionica autoplina, od kojih se oko 60 % nalazi u Europi [3].

## 2.8 OSNOVNE PREDNOSTI I NEDOSTACI KORIŠTENJA UNP-a

***Osnovne prednosti korištenja UNP-a za pogon vozila u odnosu na konvencionalna goriva:***

- Ekonomičnost ( povoljnija cijena energenta oko 50 % )
- Infrastruktura i logistika ( pouzdani proizvođači opreme za uporabu UNP-a i razgranata mreža punionica )
- Sigurnost ( više temperature zapaljenja, sigurniji spremnici )
- Ekološkičnost ( značajna smanjenja emisija štetnih plinova )

***Osnovni nedostaci korištenja UNP-a za pogon vozila u odnosu na konvencionalna goriva:***

- Cijena ugradnje UNP sustava ( 3 000 – 14 000 kn ) i potreban broj km za povrat investicije
- Potrebno određeno vrijeme čekanja na ugradnju zbog velike potražnje
- Određeni broj nestručnih serviseri, bez kvalitetne obuke, pripreme i znanja
- Opasnost od ugradnje dijlova lošije kvalitete zbog manje cijene i dodatne zarade od strane montera
- Potrebno obavljanje dodatnih tehničkih pregleda i plaćanje atesta sistema
- U slučaju ugradnje većeg spremnika dolazi do gubitka prtljažnog prostora
- Dolazi do određenog smanjenja max snage i brzine vozila pogonjenog UNP-om od 4 do 7 % uz povećanje potrošnje od oko 10 %

### **3 PRAĆENJE STANJA MOTORA I KVALITETE IZGARANJA**

#### **3.1 ANALIZA ISPUŠNIH PLINOVA VOZILA – EKO TEST**

Analiza ispušnih plinova vozila započela je šezdesetih godina u Kaliforniji koja je jedna od vodećih zemalja u primjeni alternativnih goriva. U današnje vrijeme analizom ispušnih plinova bave se sve razvijene zemlje svijeta. Hrvatska također provodi analizu ispušnih plinova iako nema tu obvezu pošto nije članica Europske unije.

Ispušni plinovi vozila koji sudjeluju u zagađenju okoliša moraju biti podvrgnuti periodičkom ispitivanju kako bi se ustanovilo da li je tijekom korištenja vozila došlo do povećanja koncentracije ispušnih plinova. Ispitivanje ukazuje i na pojedine nepravilnosti izgaranja goriva ukoliko su one prisutne. Ispitivanje se provodi za vrijeme redovitog tehničkog pregleda i obavlja ga ovlaštena osoba. Zadovoljavajući rezultat ispitivanja ujedno je i uvjet za prolazak tehničkog pregleda.

Prema odredbama predmetnog Pravilnika obvezi EKO testa podliježu:

1. osobni automobili
2. autobusi
3. kombinirani automobili
4. teretni automobili
5. radna vozila

Obveze EKO testa oslobođena su sljedeća vozila:

1. vozila opremljena benzinskim dvotaktnim motorima
2. vozila opremljena benzinskim motorima ako su proizvedena prije 1970. godine
3. vozila opremljena benzinskim motorima ako im konstrukcijska brzina nije veća od 50 km/h
4. vozila opremljena dizelskim motorima ako su proizvedena prije 1980. godine
5. vozila opremljena dizelskim motorima ako im konstrukcijska brzina nije veća od 30 km/h
6. vozila opremljena alternativnim pogonskim motorima ili izvorom energije (vodik, metan, propan-butan, gorive ćelije, elektromotor i sl.)
7. motocikli
8. radni strojevi
9. traktori

### 3.1.1 Eko test benzinskih motora

Benzinski motori dijele u dvije skupine s obzirom na to da li posjeduju **lambda sondu** ili ne. Glavna značajka koja svrstava vozilo u jednu od skupina nije katalizator, nego lambda sonda na ispušnoj grani. Prva skupina motora naziva se skupina sa **REG-KAT** motorima, (na ispušnoj grani imaju lambda sondu i katalizator), a druga skupina naziva se skupina **BEZ-KAT** motora (svi oni koji nemaju katalizator ili imaju neregulirani katalizator).

Ispitivanje ispušnih plinova **REG-KAT** motora obavlja se u dvije faze. Prva faza ispitivanja obavlja se na radnoj temperaturi motora, pri povećanoj brzini vrtnje, a druga faza ispitivanja obavlja se na radnoj temperaturi u praznom hodu motora. Kod ovakvih motora bitno je da se zahtjevane vrijednosti plinova mogu dobiti samo ukoliko je prethodno izvršeno progrijavanje katalizatora.

Ako podaci proizvođača o zahtjevanim vrijednostima nisu poznate ispitivanje se obavlja prema zakonskim vrijednostima [11].

U tablici 3-1 prikazane su zakonski zahtjevane vrijednosti eko testa za skupinu REG-KAT

**Tablica 3-1: Zakonski zahtjevane vrijednosti eko testa za skupinu REG-KAT [11]**

REG-KAT	
pri temperaturi motora $\geq 80^{\circ}\text{C}$	
progrijavanje katalizatora minimalno 1 min	
povećana brzina vrtnje ( $2500 - 3000 \text{ min}^{-1}$ )	prazni hod
$\text{CO} \leq 0,3\%$	$\text{CO} \leq 0,5\%$
faktor zraka $\lambda = 1 (\pm 0,03)$	

**BEZ-KAT** motori ispituju se samo pri radnoj temperaturi u praznom hodu motora, pri čemu su dopuštene koncentracije ugljičnog monoksida (CO) propisane od strane proizvođača.

Ako podaci proizvođača nisu poznati sadržaj ugljičnog monoksida (CO) u ispušnim plinovima ne smije prelaziti 4,5 % volumenskog udjela za vozila proizvedena 1986. godine i starija, odnosno 3,5 % volumenskog udjela za vozila proizvedena 1987. godine i mlađa, pri minimalnoj temperaturi motora od 80 °C [11].

U tablici 3-2 prikazane su zakonski zahtjevane vrijednosti eko testa za skupinu BEZ-KAT

**Tablica 3-2: Zakonski zahtjevane vrijednosti eko testa za skupinu BEZ-KAT [11]**

BEZ-KAT	
pri temperaturi motora $\geq 80^{\circ}\text{C}$	
prazni hod	
1986. godina i starija	1987. godina i mlađa
$\text{CO} \leq 4,5\%$	$\text{CO} \leq 3,5\%$

### 3.1.2 Eko test dizel motora

Mjerenja srednjeg koeficijenta zacrnjenja obavljaju se tako da se motor zagrije na radnu temperaturu, te nakon toga slobodno ubrzava od brzine vrtnje u praznom hodu do najveće brzine vrtnje i to najmanje tri puta. Sandom za uzimanje uzoraka postavljenom u ispušnu granu dobiva se signal na analizatoru koji proračunava vrijednost srednjeg koeficijenta zacrnjenja ( $k$ ). Ako podaci proizvođača o radnoj temperaturi i vrijednosti srednjeg koeficijenta zacrnjenja nisu poznati uzimaju se zakonske vrijednosti [11].

U tablici 3-3: prikazane su zakonski zahtjevane vrijednosti eko testa za skupinu DIZEL

**Tablica 3-3: Zakonski zahtjevane vrijednosti eko testa za skupinu DIZEL [11]**

DIZEL	
pri temperaturi motora $\geq 80^{\circ}\text{C}$	
bez prednabijanja	s prednabijanjem
$k \leq 2,5 \text{ m}^{-1}$	$k \leq 3,0 \text{ m}^{-1}$

Osim cjelogodišnjeg održavanja auta vozači sami mogu utjecati na bolji rezultat. Najbitnije je da auto dođe na testiranje zagrijan i "propuhan". Preporučuje se neposredno prije dolaska na ekotest auto punim gasom provesti otvorenom cestom. Nakon propuhivanja na velikom broju okretaja, zacrnjenje se može smanjiti čak i do tri puta, za razliku od auta koji je dovežen na mjerenje neposredno nakon vožnje po gradskim ulicama. Na bolji rezultat ekotesta može utjecati i izmjena filtera zraka. S novijim filterom zraka goriva smjesa je kvalitetnija i bolje izgara, pa je manje štetnih plinova.



## 4 FEROGRAFIJA

Ferografija kao analitička metoda za odvajanje i određivanje sadržaja željeznih čestica uvedena je u praksu sedamdesetih godina prošlog stoljeća. Ova analitička metoda je bila podjednako zanimljiva inženjerima koji se bave podmazivanjem i trošenjem metala, ali i znanstvenicima na području medicine. Prvi instrumenti za ferografiju bili su u mogućnosti iz mazivog ulja, ili druge tekućine, utjecajem magnetskog polja odvojiti željezne čestice promjera od 20 nm pa sve do nekoliko  $\mu\text{m}$ . Utvrđivanje količine i veličine metalnih čestica u rabljenom motornom ulju dalo je odgovore na brojna pitanja i potaklo daljnja istraživanja i unapređivanja analitičkih tehnika na tom planu. Ferografija je tako omogućila:

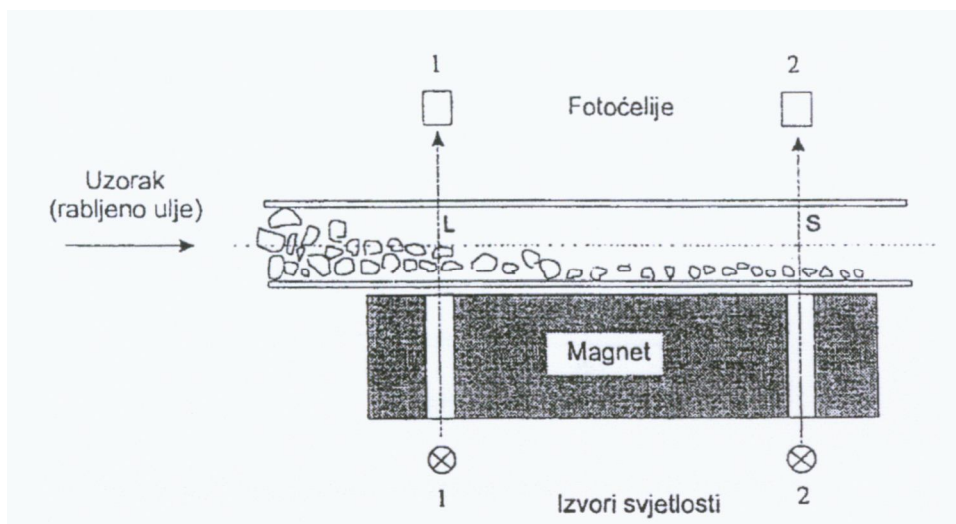
- izdvajanje metalnih čestica i njihovo svrstavanje prema veličini,
- osnovne informacije o četiri glavne karakteristike čestica – o količini, veličini, morfologiji i sastavu,
- uvođenje novog morfološkog opisa čestica nastalih trošenjem metala i boljeg poznavanja načina i uzroka trošenja metala.

Ferografski postupak se sastoji od pumpanja mazivog ulja koje se ispituje vrlo malom brzinom (obično oko 0,25 ml u sekundi) u blizini vrlo jakog magnetskog polja, koje djeluje na metalne čestice i sakuplja ih na podesnom transparentnom nosaču. Razvoj ove metode je omogućio i izdvajanje metalnih čestica ne samo iz ulja za podmazivanje, nego i iz mazivih masti, ispušnih plinova motora s unutarnjim izgaranjem, pa čak i iz bioloških materijala. Utjecajem magnetskog polja se izdvojene čestice mogu na razne načine, koristeći razne tehničke postupke, dalje analizirati. Za to se koriste optičke tehnike, ali i spektrofotometrija za određivanje količine čestica.

Spektrometrijske metode su dale uvid u sadržaj drugih metala u česticama, u prvom redu bakra, iz čega se moglo zaključiti koji su dijelovi motora u pojedinom slučaju najviše izloženi trošenju materijala. Na medicinskom planu su napredne ferografske metode dale uvid u ponašanje virusa u ljudskom organizmu, pa čak i u praćenje specifičnih bolesti kao što je AIDS. Razvoj ferografije kao analitičkog postupka, posebno unaprijeđenog primjenom računala, dao je velik doprinos ne samo tehnici podmazivanja, nego i mnogim drugim segmentima suvremene znanosti [12].

#### 4.1 INDEKS SADRŽAJA ČESTICA TROŠENJA ( WPC )

Indeks sadržaja čestica trošenja WPC ( Wear Particle Content – sadržaj čestica trošenja ) određuje se pomoću ferografa s direktnim očitanjem, slika 4.1.



**Slika 4.1 - Princip rada ferograma s direktnim očitanjem [13]**

Uzorak rabljenog ulja u kojem su prisutne čestice trošenja teče iznad jakog magneta koji privlači metalne čestice posljedica čega je njihovo taloženje na dno staklene cjevčice. Prvo dolazi do taloženja većih čestica, dok se male čestice talože nešto kasnije zato što je sila u magnetskom polju proporcionalna njenom volumenu, a otpor gibanju kroz medij proporcionalan je površini presjeka čestica poprečno na smjer gibanja kroz medij [13]. Istraživanja su pokazala da je omjer malih i velikih čestica, koji ostaje približno konstantan sve dok je proces trošenja nepromijenjen, zanimljiva karakteristika procesa trošenja.

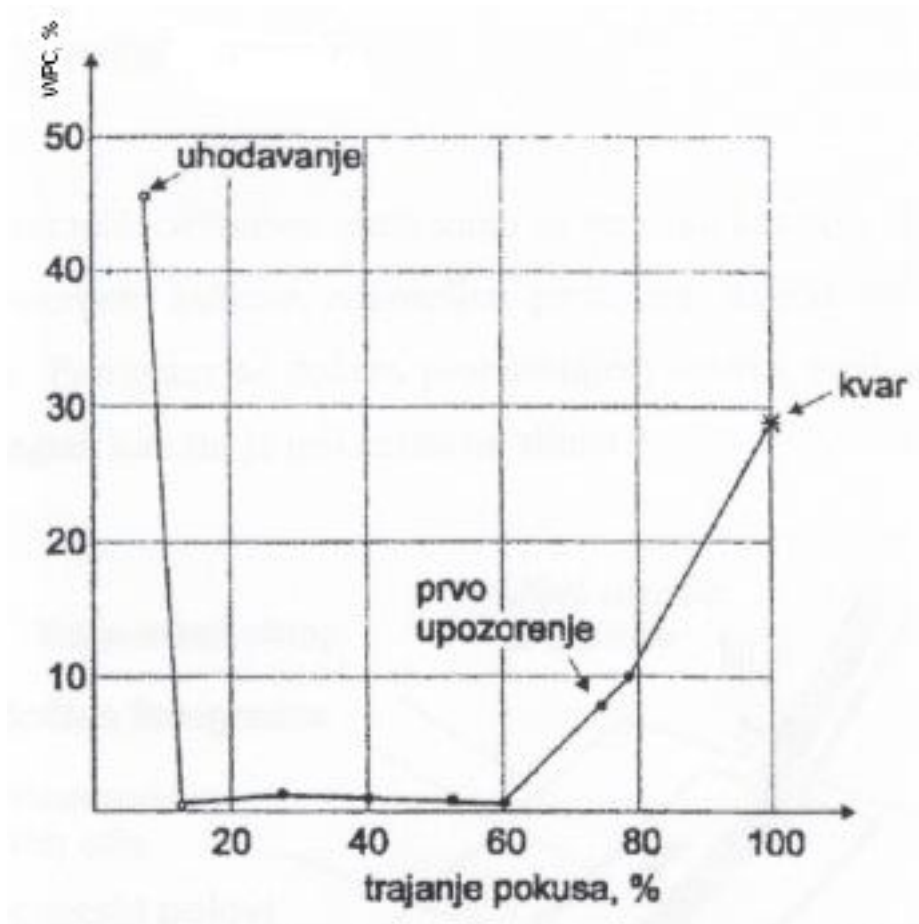
Indeks WPC očitava se direktno na instrumentu, a određuje se pomoću izraza [13]:

$$\text{WPC} = D_L + D_S, \%$$

gdje je:

- WPC – indeks sadržaja čestica trošenja, %
- $D_L$  – površina prekrivena većim česticama, %
- $D_S$  – površina prekrivena manjim česticama, %

Slika 4.2 prikazuje promjenu indeksa sadržaja čestica trošenja

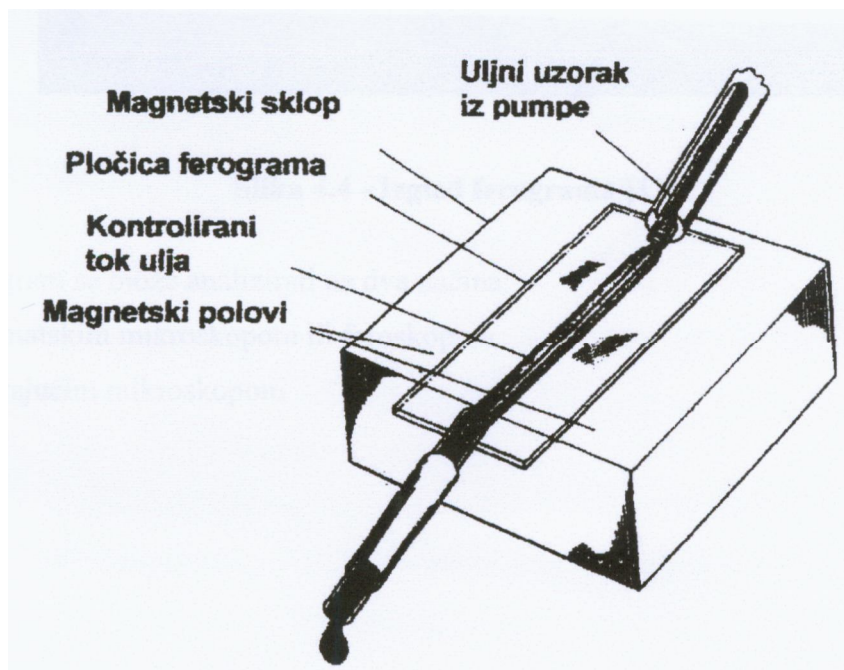


**Slika 4.2 - Promjena indeksa intenzivnosti trošenja [4]**

Iz slike 4.2 dolazi se do zaključka da nagli porast sadržaja čestica trošenja indicira na nepravilnosti samog procesa trošenja. Na ovaj način je moguće ustanoviti nepravilnosti prije nego što je nastupilo ozbiljno oštećenje unutar promatranog tribosustava. Prvo upozorenje javlja se na  $\frac{3}{4}$  ukupnog trajanja pokusa što daje dovoljno vremena za intervenciju, spriječavanje kvara i ozbiljnijih oštećenja.

## 4.2 ANALIZA FEROGGRAMA

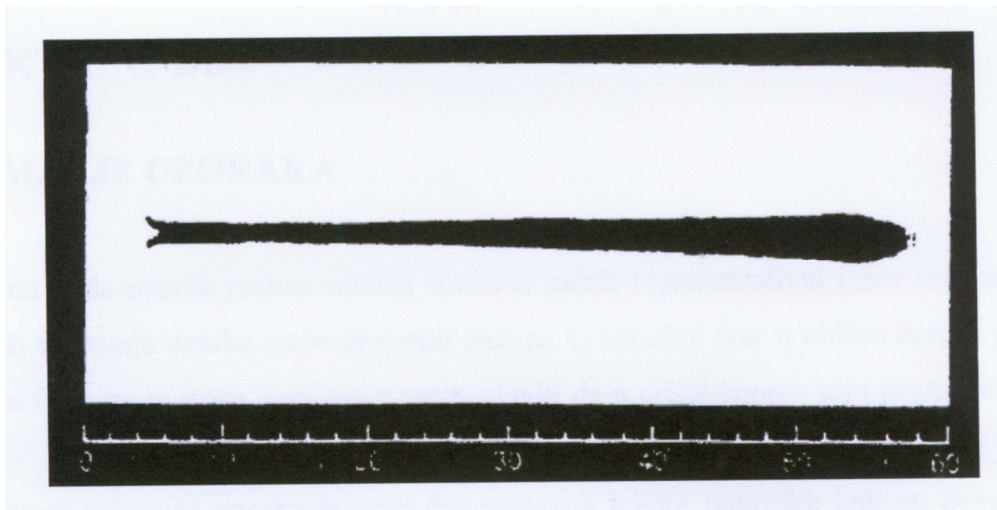
Ferograf s direktnim očitanjem služi za rutinsku kontrolu stanja procesa trošenja. Kada se pomoću ferografa uoči nepoželjna promjena, daljnje informacije se dobivaju analizom ferograma. Ferogram se dobiva propuštanjem uzorka medija na staklenu pločicu ispod koje je jaki magnet kako prikazuje slika 4.3



**Slika 4.3 - Shema dobivanja ferograma [13]**

Čestice se talože na pločicu selektivno po veličini. Ova pojava je izraženija kod magnetičnih materijala tako da se velike, a slabo magnetične čestice mogu naći izlučene cijelom dužinom ferograma. Čestice neželjeznih materijala ili nemetala postaju ograničeno magnetične prijenosom željeznih materijala ukoliko rade u međusobnom dodiru. Čak i potpuno nemagnetične čestice mogu se izlučiti iz medija nosača [13].

Nakon što je izlučivanje čestica završeno, ostatak medija se ispire otapalom, a čestice učvrste na stalku sredstvom za učvršćivanje. Tako dobivena pločica s česticama izlučenim po veličini naziva se ferogram. Izgled ferograma prikazan je slikom 4.4.



**Slika 4.4 - Izgled ferograma [13]**

Ferogram se može analizirati:

- bikromatskim mikroskopom ili feroskopom
- skenirajućim mikroskopom

## 5 PRAKTIČNI DIO

Zadatak diplomskog rada bio je praćenje stanja motora koji je 20.000 km bio pogonjen UNP-om bez aditiva, a zatim 20.000 km s UNP-om u koji je bio dodan aditiv. Između ostalih analiza provedeno je praćenje stanja motora analizom ulja na uzorcima iz ispitivanog vozila.

Ispitivanje je provedeno na vozilu marke Peugeot 307 s 1.4 litrenim benzinskim motorom snage 65 kW. Vozilo je u vlasništvu tvrtke Proplin, prikazano na slici 5.1.



**Slika 5.1 - Vozilo marke Peugeot na kojem je provedeno ispitivanje**

Tijekom projekta kontinuirano je uziman uzorak ulja iz ispitivanog vozila nakon svakih 2.500 km i očitavane su vrijednosti WPC-a. Te analize rezultiraju dijagramom promjene indeksa intenzivnosti trošenja motora testnog vozila. Na temelju dobivenih rezultata mogu se donijeti zaključci o utjecaju aditiva na stanje analiziranog tribosustava, tj motora.



Tijekom cijelog ciklusa ispitivanja uz praćenje stanja motora analizom ulja, također su vršena ispitivanja snage, momenta i kvalitete ispušnih plinova u Centru za vozila Hrvatske. Tvrtka ZAMA-TEH d.o.o. vršila je kontrolu i servis važnih dijelova opreme za pogon vozila UNPom. Na završetku ispitivanja uslijedilo je rastavljanje motora i analiza dijelova od strane ovlaštenog Peugeot servisa, prikazano slikama 5.2, 5.3 i 5.4.



**Slika 5.2 – Izgled cilindra motora testnog vozila**



**Slika 5.3 – Dijelovi motora testnog vozila**



**Slika 5.4 – Ventili motora testnog vozila**

## 5.1 UZIMANJE UZORAKA

Od velike je važnosti da uzorak podmazujućeg sredstva koje se podvrgava ispitivanju bude što reprezentativniji. Samom uzimanju uzoraka treba posvetiti puno pažnje jer vrlo lako može doći do pogrešaka zbog kojih kasnije ne dobivamo stvaran uvid u stanje promatranog tribosustava.

Postoje dva načelna izvora pogreške pri uzimanju uzoraka ulja iz uljnih spremnika, a oba su povezana s sklonošću taloženja čestica:

- ako je uzorak uzet s dna spremnika, postoji mogućnost dobivanja čestica velikog volumena kao posljedica taloženja;
- ako je uzorak uzet iz glavnog dijela tekućine, nakon isključenja motora postoji mogućnost dobivanja čestica premalog volumena, također kao posljedica taloženja.

Uzimajući u obzir da vrlo lako može doći do pogreške prilikom uzimanja uzorka poželjno se pridržavati sljedećih uputa:

1. Smatra se poželjnim uzimanje uzorka dok sustav radi. Ako to nije moguće, uzorak bi trebalo uzeti što prije nakon isključenja motora.
2. Veće čestice prve tonu prema dnu spremnika i preporučuju se uzorak uzeti u blizini dna spremnika. Bitno je izbjeći čestice ili mulj s dna spremnika. Preporučuje se odmak oko 2,5 cm od dna prilikom uzimanja uzorka.
3. Ako se koristi jedna cijev za uzimanje uzoraka, tada se ona mora čistiti nakon svakog uzimanja uzorka kako bi prilikom sljedećeg uzimanja dobili trenutni uzorak.
4. Ako se koristi uspravno stojeća cijev za uzimanje uzoraka, poželjno je savinuti kraj, tako da čestice ne ulaze neposredno u cijev.



## 5.2 POHRANA UZORAKA

Prilikom pohrane uzorka poželjno je da boca za uzorke sadrži najmanje 15 ml ulja za uzorak, te da je izrađena od prozirnog stakla plosnatih stijenki na stranama. Prednost prozirnog stakla i plosnatih stijenki leži u mogućnosti vizualne kontrole uzorka. Vizualnom kontrolom moguće je kontrolirati:

- boju – oksidacija kao posljedica pregrijavanja ili degradacija sredstava za podmazivanje, općenito zatamnjuje ulje;
- stupanj stvaranja mulja nakon pohrane uzorka;
- vrlo ozbiljne slučajeve trošenja – mogu se vidjeti vrlo velike pojedinačne čestice trošenja;
- prisutnost stranih tekućina u ulju.

Posude od polimernih materijala se ne koriste iz razloga što polimerni materijali u dodiru s uljem mogu onečistiti uzorak polimernim česticama, različitim gelovima i korozivnim tekućinama. Polimerne posude mogu postati ljepljive i na taj način zadržati čestice trošenja na svojoj unutrašnjoj površini. Kao posljedica toga, uzorak može postati nereprezentativan.

Za potrebe ovog ispitivanja uzorci su pohranjeni u prozirne staklene bočice, a na svakoj bočici zabilježeni su podaci :

- oznaka vozila;
- broj prijeđenih kilometara;
- datum uzimanja uzorka.

Pohranjeni uzorci prikazani su na slici 5.5.



**Slika 5.5 - Pohranjeni uzorci**

### 5.3 OPREMA ZA ISPITIVANJE

Ispitavanja su provedena na ferografu PMA 90 S (slika 5.6) s direktnim očitanjem i uređaju za mjerenje zagađenja ulja TCM-U (slika 5.7) za kontrolu ulja u Laboratoriju za tribologiju, Zavod za materijale, Fakultet strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.



Slika 5.6 - Ferograf s direktnim očitanjem PMA 90 S



Slika 5.7 - Uređaj za mjerenje zagađenja ulja TCM – U

## **5.4 PRIPREMA UREĐAJA I UZORAKA ZA ISPITIVANJE**

### **5.4.1 Priprema uređaja PMA 90 S i uzoraka za ispitivanje**

Priprema uređaja se razlikuje za motorna, hidraulička, mjenjačka i druge vrste ulja.

Provedeno ispitivanje odnosilo se na motorno ulje, a priprema se vršila na sljedeći način:

1. Uključivanje mjernog uređaja u izvor napona i osiguravanje potrebnog vremena za zagrijavanje uređaja u trajanju od nekoliko minuta.
2. Uzimanje 1ml rabljenog motornog ulja iz staklenke i ispuštanje u ispitnu cijev uz dodavanje 1 ml čistog benzina. Ispitnu cijev valjalo je protresti, kako bi se postigla homogena mješavina čestica trošenja u rabljenom ulju, te je pričvrstiti na držač ferografa.
3. Punjenje druge ispitne cijevi nekorištenim motornim uljem iste gradacije kakve je i ispitivano ulje i miješanje s čistim benzinom u omjeru 1:1. Nakon toga, ispitna cijev pričvršćena je na držač ferografa.
4. Punjenje kompletnog kapilarnog sustava čistim razrijeđenim uljem kroz cjelokupni mjerni sustav.
5. Provjera odsutnosti zračnih mjehurića u kompletnom mjernom sustavu.

#### **5.4.2 Priprema uređaja TCM – U i uзорaka za ispitivanje**

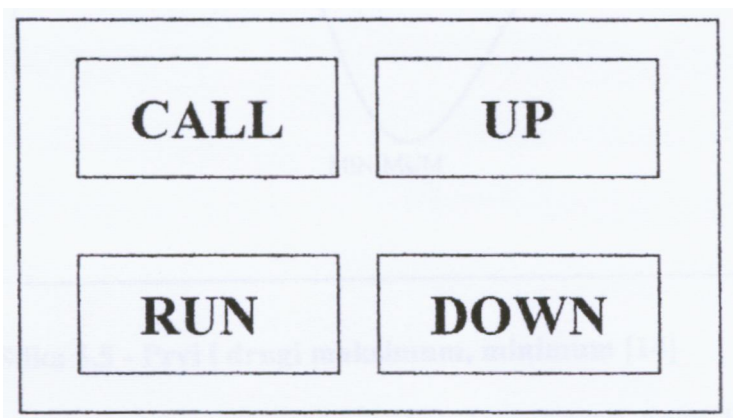
Postupak provjere kalibracije i pripreme uređaja izveden je na slijedeći način:

1. Uključivanje mjernog uređaja u izvor napona i osiguravanje potrebnog vremena za zagrijavanje uređaja u trajanju od nekoliko minuta.
2. Čišćenje mikroposude filtarskim papirom i umetanje referentnog ispitnog stakalca u predviđeni utor na uređaju.
3. Podešavanje kalibracijske ručice za kalibraciju na vrijednost označenu na ispitnom stakalcu umetnutom u uređaj. Primjerice, podešavanje vrijednost „1,35“, kako je bilo naznačeno na ispitnom stakalcu pomoću kojeg je kalibriran uređaj. U slučaju mjerenja mjenjačkih i hidrauličnih ulja, potrebno je uređaj kalibrirati uz uporabu čistog (nekorištenog) mjenjačkog ili hidrauličnog ulja ubrizgavanog u mikroposudu, te zatim podešavati ručicu za kalibriranje.
4. Podešavanje vrijednosti „0,00“ (nula) na zaslonu uređaja, prije provođenja slijedećeg mjerenja.

## 5.5 POSTUPAK MJERENJA

### 5.5.1 Postupak mjerenja uređajem PMA 90 S

Potrebno je pritisnuti tipku UP jednom ili dva puta ( ili triput ), u srazmjeru s volumenom (ml) ispitivanog uzorka. U slučaju motornog ulja pritisnuti samo jednom. Zatim pritisnuti tipku CALL za kalibraciju čistog razrijeđenog ulja. Pričekati oko 20 sekundi do pojave zvučnog signala čime se i crvena LED dioda isključuje. Time je izvršena kalibracija i pohranjena u računalnoj memoriji. Korištene tipke prikazane su na slici 5.8

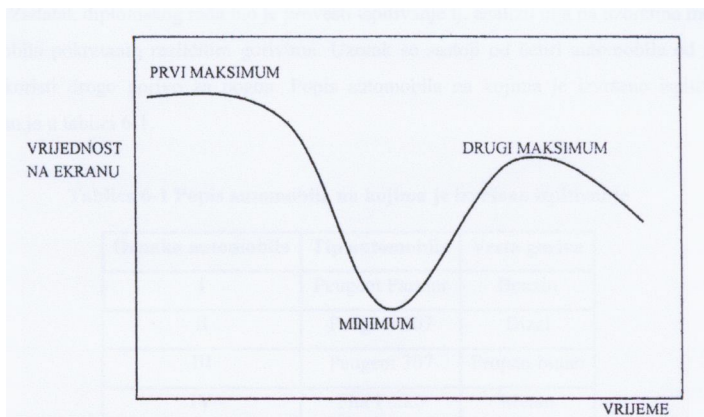


Slika 5.8 - Raspored tipki na ferografu PMA 90 S [14]

Odmah nakon zvučnog signala i gašenja crvene LED diode potrebno je premjestiti usisni kraj plastične cijevi iz čistog razrijeđenog ulja u razrijeđeno rabljeno ulje koje ispitujemo – bez zastajanja. Vrijednosti na ekranu se brzo podižu na „prvi maksimum“ , dosežu vrijednosti 4000 ili manje na oba ekrana. Ovaj broj nije potrebno bilježiti jer je pohranjen u memoriji.

Pričekati da i posljednji ostatak ispitivanog ulja bude uvučen u kapliranu cijev i zatim usisni kraj plastične cijevi umetnuti ponovo u čisto razrijeđeno ulje. Neophodno je postojanje zračnog mjehura dužine 2 – 5 cm između rabljenog i čistog ulja koje sada ulazi u ispitnu cijev. Vrijeme potrebno za protok jednog uzorka motornog ulja kroz sustav ovisi o viskozitetu ulja. Važno je da približno vrijeme obrade jednog uzorka iznosi oko 4 minute. Ako je vrijeme znatno kraće ( manje od 3 minute ), postoji opasnost od turbulentnog toka. Tada su rezultati preniski.

U trenutku kada zračni mjehurić uđe u staklenu kapilarnu cijev, potrebno je pritisnuti tipku RUN. Tada mikroprocesor automatski procjenjuje „drugi maksimum“. Prvi i drugi maksimum prikazani su na slici 5.9.



**Slika 5.9 - Prvi i drugi maksimum, minimum [14]**

Nakon zvučnog signala potrebno je ponovo pritisnuti tipku RUN. Na ekranu se sada prikazuje vrijednost  $D_L$  i  $D_S$  u %. Ove vrijednosti potrebo je zapisati. Ponovnim pritiskom tipke RUN moguće je očitati WPC vrijednost na drugom ekranu, što je također potrebno zapisati.

To su ujedno i traženi rezultati mjerenja.

Nakon zapisivanja rezultata mjerenja potrebno je pritisnuti tipku RESET za brisanje pohranjenih podataka, ukloniti staklenu kapilarnu cijev iz kućišta magneta i cijeli sustav isprati čistim benzinom.

### **5.5.2 Postupak mjerenja uređajem TCM – U**

Staviti 5 ml rabljenog motornog ulja u bočicu, dodati istu količinu (5 ml) čistog tehničkog benzina, te žustro tresti i okretati bočicu. Na dnu protresene bočice ne smije ostati talog.

Koristeći malenu injekcijsku špricu, potrebno je uzeti malenu količinu razrijeđenog motornog ulja i staviti je na početak mikroposude s otvorom od 0,2 mm. Ulje će biti samo po sebi uvučeno u otvor.

Umetnuti mikroposudu u utor na uređaju TCM-U. Očitati broj na ekranu i zapisati ga. To je ukupni sadržaj zagađujućih materijala (Total Contaminant Materials – TCM) u postocima (%).

Neposredno nakon očitavanja, potrebno je očistiti mikroposudu. Za to se koristi filtarski papir. Potrebno je postaviti mikroposudu u vertikalni položaj u odnosu na filtarski papir, nakon čega će papir sam upiti ulje iz mikroposude.

## 6 REZULTATI ISPITIVANJA

### 6.1 REZULTATI ANALIZE ULJA ISPITIVANOG AUTOMOBILA

Rezultati analize ulja dobiveni pomoću uređaja za ferografsku analizu PMA 90 S i uređaja za kontrolu zagađenja ulja TCM-U.

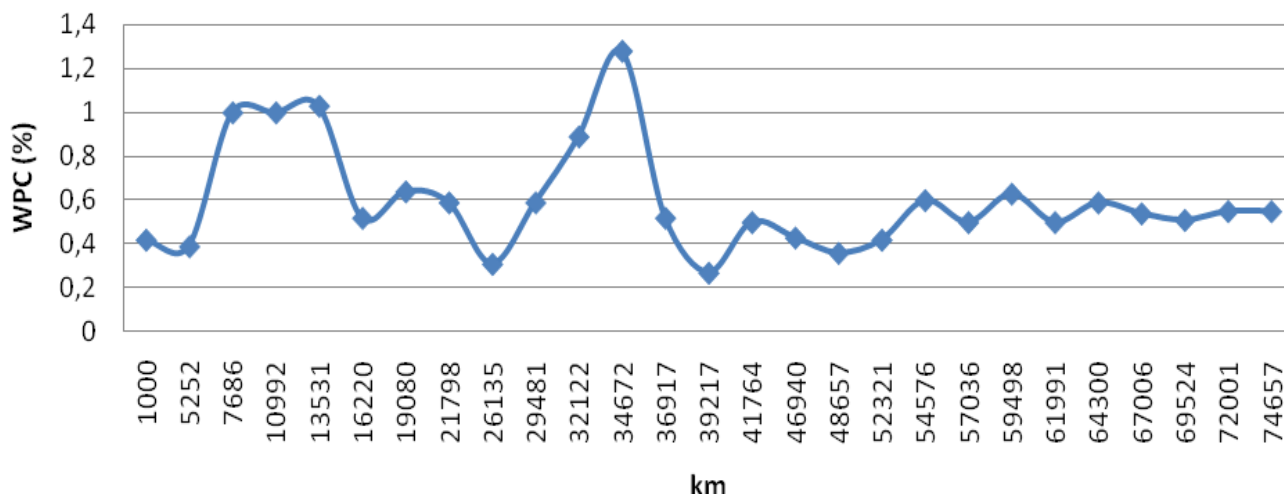
Uzorci ulja za analizu iz ispitnog automobila uzeti su ukupno 27 puta. Iz svakog uzorka ulja napravljeno je po 5 analiza, a srednje vrijednosti dobivenih rezultata prikazane su u tablici 6-1.

**Tablica 6-1: Rezultati analize ulja ispitivanog automobila**

uzorak	km	DL	DS	WPC(%)	TCM-U
PP0	1000	0,02	0,4	0,42	0
PP1	5252	0,02	0,37	0,39	0
PP2	7686	0	1	1	0,05
PP3	10992	0,53	0,47	1	0,25
PP4	13531	0,15	0,88	1,03	1,3
PP5	16220	0	0,52	0,52	0,63
PP6	19080	0	0,64	0,64	0,7
PP7	21798	0,11	0,48	0,59	3,3
PP8	26135	0,01	0,3	0,31	1,61
PP9	29481	0,09	0,5	0,59	1,72
PP10	32122	0	0,89	0,89	0,97
PP11	34672	0	1,28	1,28	0,45
PP12	36917	0,01	0,51	0,52	0,12
PP13	39217	0,02	0,25	0,27	0,12
PP14	41764	0,06	0,44	0,5	0,26
PP15	46940	0,02	0,41	0,43	0,46
PP16	48657	0,05	0,31	0,36	0,27
PP17	52321	0,03	0,39	0,42	0,49
PP18	54576	0,02	0,58	0,6	0,08
PP19	57036	0,03	0,47	0,5	0,76
PP20	59498	0,03	0,6	0,63	0,39
PP21	61991	0,03	0,47	0,5	1,28
PP22	64300	0,04	0,55	0,59	0,69
PP23	67006	0,06	0,48	0,54	0,63
PP24	69524	0,03	0,48	0,51	1,04
PP25	72001	0,06	0,49	0,55	1,37
PP26	74657	0,07	0,48	0,55	1,22



Podatke u tablici 6-1 dobivene ferografskom analizom možemo prikazati u dijagramu iz kojeg je moguće pratiti trend sadržaja čestica trošenja ovisno o prijeđenim kilometrima. Dijagram je prikazan na slici 6.1.



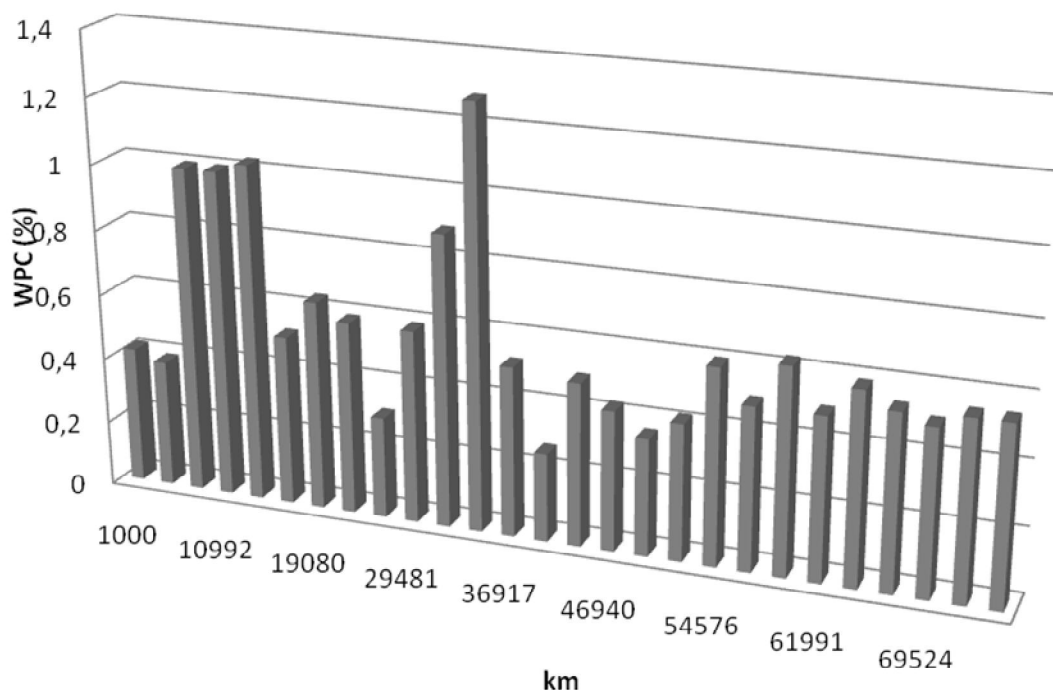
**Slika 6.1 - Vrijednost indeksa intenzivnosti trošenja (WPC) tijekom trajanja ispitivanja**

Iz dijagrama dobivenog na osnovu rezultata ferografske analize možemo zaključiti da nakon početnog uhodavanja motora u trajanju od oko 15.000 km dolazi do ujednačavanja sadržaja čestica trošenja sve do oko 25.000 km. Nakon toga dolazi do naglog porasta sadržaja čestica trošenja, da bi se nakon narednih 15.000 km trošenje ustabililo na određenoj vrijednosti koja iznosi oko 0,5 %/ml.

U uzetim uzorcima ulja mjereno je i ukupni sadržaj zagađujućih tvari u ulju (TCM – Total Contaminants Measurement) i dobiveni rezultati su također prikazani u tablici 6-1. Iz te tablice je vidljivo da je TCM približno konstantan, bez značajnih razlika i nakon dodavanja aditiva u ukapljeni naftni plin. To potvrđuje da dodani aditiv u ukapljenom naftnom plinu nema utjecaj na stanje motora ispitivanog vozila.

## 7 ANALIZA REZULTATA ISPITIVANJA

Na osnovi dobivenih rezultata ispitivanja možemo komentirati promjene indeksa intenziteta trošenja u odnosu na određeni broj prijeđenih kilometara. Na slici 7.1 prikazane su promjene indeksa sadržaja čestica trošenja u ovisnosti o prijeđenim kilometrima za ispitivano vozilo.



**Slika 7.1 - Promjena indeksa sadržaja čestica trošenja (WPC) u ovisnosti o prijeđenim kilometrima**

Nakon provedenog ispitivanja i analize podataka uočene su promjene indeksa intenziteta trošenja. Na prijeđenih 25.000 kilometara dolazi do naglih promjena, odnosno povećanja sadržaja čestica trošenja, da bi nakon idućih 15.000 kilometara došlo do ustabiljenja procesa trošenja.

Za ovo možemo tražiti objašnjenje najvjerojatnije u procesu uhodavanja motora, ali je moguće da je došlo do pogreške prilikom uzimanja uzoraka ( i kraće vrijeme čekanja nakon zaustavljanja motora, prije uzimanja uzorka, može dovesti do sedimentacije čestica i prikupljanja nereprezentativnog uzorka ili uzimanje uzoraka preblizu dna spremnika ulja što također rezultira nereprezentativnim uzorkom ). Isto tako, moglo je doći i do pogrešaka u mjerenjima prilikom pripreme uzoraka i rada na ferografu.

## 8 ZAKLJUČAK

Ovim radom pokušalo se prema dobivenim podacima prilikom ispitivanja snage, momenta i kvalitete ispušnih plinova, kontrole i servisa važnih dijelova opreme za pogon vozila UNPom i ferografskom analizom ulja ispitati utjecaj aditiva za UNP na stanje motora vozila.

Mjerenja su pokazala da korišteni aditiv tijekom ispitnog perioda nema nikakav utjecaj na vrijednosti snage i momenta motora testnog vozila, te na kvalitetu i sastav ispušnih plinova. Ferografska ispitivanja su pokazala da primjena aditiva ne utječe na indeks intenzivnosti trošenja motora, tj trošenje motora vozila ostaje konstantno neovisno o korištenom gorivu i korištenom aditivu. To je potvrđeno i rastavljanjem motora čime je omogućeno mjerenje oblika i dimenzija vitalnih dijelova motora testnog vozila, te uvid u njihovo stanje. Rezultati su pokazali da nema odstupanja tih vrijednosti od uobičajenih za tu vrstu motora. Stanje površine pojedinih dijelova je vrlo dobro, s još uvijek vidljivim tragovima brušenja nastalih tijekom izrade tih dijelova.

Dobiveni rezultati i zaključci se odnose na vrstu i tip ispitivanog vozila (Peugoet 307 s benzinskim motorom obujma  $1360\text{cm}^3$  i snage  $65\text{kW}$ ) i ugrađeni plinski sustav. Obzirom na razlike u konstrukciji motora raznih vozila i korištenim materijalima, kao i značajne razlike u plinskim sustavima različitih proizvođača rezultati ispitivanja za druge proizvođače mogu se značajno razlikovati.

## 9 LITERATURA

- [1] [www.energetika-net.hr](http://www.energetika-net.hr)
- [2] B. Labudović; Osnove tehnike ukapljenog naftnog plina; Energetika marketing, Zagreb, studeni 2007.
- [3] F. Muštović; LPG (propan-butan) autoplin; IBC d.o.o., Sarajevo, ožujak 2008.
- [4] T. Aleksandrov; Praćenje stanja motora na pogon alternativnim gorivima; Diplomski rad; Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2005.
- [5] [www.top-projekt.hr](http://www.top-projekt.hr)
- [6] [www.plin-komerc.ba](http://www.plin-komerc.ba)
- [7] [www.prometna-zona.com](http://www.prometna-zona.com)
- [8] [www.mevarail.ro](http://www.mevarail.ro)
- [9] [www.howstuffworks.com](http://www.howstuffworks.com)
- [10] [www.proplin.hr](http://www.proplin.hr)
- [11] [www.poslovniforum.hr](http://www.poslovniforum.hr)
- [12] M. Kolombo; Ferografija – jučer i danas; Goriva i maziva, 45, 6 : 407-412, 2006.
- [13] G. Marić; Doprinis praćenju stanja motora analizom čestica trošenja; Doktorska disertacija; Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2003.
- [14] D. Pezo; Oprema za ferografiju tribološkog laboratorija Fakulteta strojarstva i brodogradnje; Seminarski rad, Zagreb, travanj 1998.